

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
 PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
 Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
 2. Oktober 2003 (02.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
 WO 03/081813 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H04B 10/158

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00969

(22) Internationales Anmeldedatum:  
 24. März 2003 (24.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
 102 13 045.0 22. März 2002 (22.03.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
 US): MELEXIS GMBH [DE/DE]; Haarbergstrasse 67,  
 99097 Erfurt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZIMMERMANN,  
 Horst [DE/AT]; Heinrich-Collin-Str. 29-31, Stiege 3/6,

A-1140 Wien (AT). FOERTSCH, Michael [AT/AT];  
 Linzerstr. 192/1/7, A-1140 Wien (AT). PLESS, Holger  
 [DE/DE]; Zum Warte Turm 240, 99100 Bienstädt (DE).

(74) Anwälte: LEONHARD, Reimund usw.; Leonhard Olge-  
 moeller Fricke, Postfach 10 09 62, 80083 München (DE).

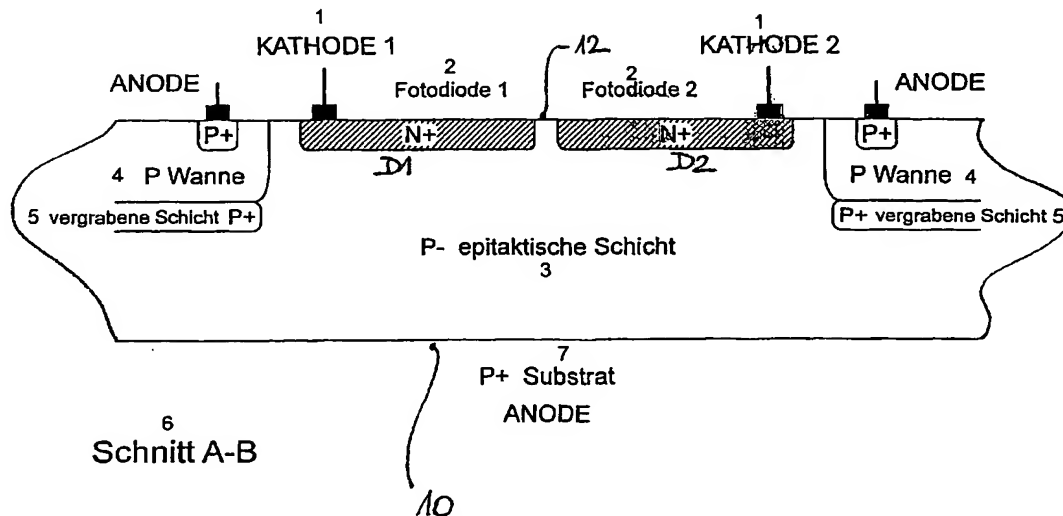
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
 AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
 CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
 GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
 KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
 MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,  
 SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
 UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,  
 GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
 eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
 TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL FIBER RECEIVER HAVING AN INCREASED BANDWIDTH

(54) Bezeichnung: OPTISCHER FASEREMPFAENGER MIT ERHOEHTER BANDBREITE



- 1 CATHODE  
 2 PHOTODIODE  
 3 P- EPITAXIAL LAYER  
 4 P TROUGH  
 5 P+ BURIED LAYER  
 6 SECTIONAL VIEW A-B  
 7 P+ SUBSTRATE

(57) Abstract: The invention relates to an optical fiber receiver (11) for optoelectronic integrated circuits (OEIC's) having an improved sensitivity and improved bandwidth. The improvements are achieved by subdividing the photodiodes into partial photodiodes (D1, D2), whereby each partial photodiode is connected to a respective transimpedance amplifier (20, 21), and the output signals of the individual transimpedance amplifiers are added inside a summation amplifier (30). The optical fiber receiver can be produced using different technologies: CMOS, BICMOS, BIPOLAR.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

## **Optischer Faserempfaenger mit erhoelter Bandbreite**

Die Erfindung betrifft einen (monolithisch) integrierten optischen Faserempfänger mit einer erhöhten Empfindlichkeit und vergrößerter Bandbreite.

Bekannte optische Faser-Empfänger bestehen im wesentlichen aus einer Fotodiode sowie einem Transimpedanzverstärker, welcher den Fotodiodenstrom in eine proportionale Spannung umsetzt, vgl. bspw. **DE 32 33 146** (AT&T Technologies) oder **DE 33 38 024** (SEL AG). Es kann außerdem eine Entscheider-Schaltung folgen, welche zu entscheiden hat, ob der empfangene Lichtpegel einer logischen Null oder Eins entspricht. Bei Lichtleitfasern mit größeren Durchmessern ist der zu empfangende Lichtfleck entsprechend groß. Bei Verwendung von z.B. Plastikfasern kann der zu empfangende Lichtfleck verhältnismäßig sehr groß sein (bis zu einem Millimeter Durchmesser). Um den ankommenden Lichtstrom voll auszunutzen zu können, wird die empfangende Fotodiode in ihrer fotoempfindlichen Fläche entsprechend angepaßt. Mit der steigenden Empfängerfläche wächst jedoch die Sperrschichtkapazität einer Fotodiode, was eine Verschlechterung sowohl ihrer Geschwindigkeit als auch des Rauschverhaltens des nachgeschalteten Transimpedanzverstärkers mit sich bringt.

**Ein technisches Problem** der Erfindung ist es, eine verhältnismäßig große lichtempfindliche Empfängerfläche für schnelle optische Signale zur Verfügung zu stellen und dennoch Bandbreite und Empfindlichkeit des optischen Empfängers zu erhöhen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine der Größe des Lichtflecks angepaßte optische Empfängerdiode unterteilt wird, wobei jeder einzelnen Teil-Fotodiode ein eigener Transimpedanzverstärker folgt. Die Ausgangssignale der einzelnen (separaten) Transimpedanzverstärker werden in einem Summenverstärker addiert.

Da die Teil-Fotodioden eine geringere Sperrschichtkapazität haben als eine ihrer Summenfläche entsprechende größere Gesamtdiode, besitzen die einzelnen Transimpedanzverstärker eine größere Bandbreite und ein besseres Rauschverhalten. Diese Eigenschaften werden vom Summenverstärker nur noch unwesentlich beeinflußt.

Das Teilungsprinzip des optischen Empfängers kann auch in Bipolar- und BICMOS-OEICs ausgeführt werden, die aufgrund der höheren Verstärkung noch höhere

Datenraten als 622Mbit/s bei einem effektiven Durchmesser von bis zu 1mm bei einer Fotodiode erreichen können.

Diese hohen Datenraten können erstmals mit Hilfe des Fotodioden-Teilungsprinzips zusammen mit einem effektiven Fotodiodendurchmesser von bis zu 1mm erreicht werden. Somit kann eine optoelektronische integrierte Schaltung (OEIC) für eine Plastikfaser mit im Wesentlichen 1mm Durchmesser eine Datenrate von über 500Mbit/s erreichen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit liegt in optischen Empfängern für Glasfasern oder Plastikfasern, die eine hohe Justiertoleranz von optischen Steckverbindungen zulassen, bzw. keine Justierung erfordern.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Alle dargestellten Elemente sollen als auf einem Chip integriert in CMOS-Technologie hergestellt verstanden werden, soweit nicht anderweitig erläutert.

**Figur 1** ist eine Draufsicht auf eine Fotodiode eines optischen Faser-Empfängers bekannter Art (schematisch).

**Figur 2** ist eine Schaltung der Fotodiode mit einem Transimpedanzverstärker 29.

**Figur 3** ist eine Draufsicht auf eine Fotodiode eines Beispiels des erfindungsgemäßen optischen Faser-Empfängers (schematisch).

**Figur 4** ist eine erfindungsgemäße Schaltung mit Teil-Fotodioden und mit mehreren Transimpedanzverstärkern und dem Summenverstärker.

**Figur 5** ist ein vertikaler Schnitt durch die PIN-Fotodiode gemäß Figur 3 (schematisch).

**Figur 6** ist ein Diagramm der Eingangsrauschstromdichte aufgetragen über der Frequenz.

Die ganzflächige Fotodiode D in **Figur 1**, mit einer 0,6µm-CMOS-Technologie hergestellt, hat einen Durchmesser "d1" von 400µm und eine Sperrschichtkapazität von etwa 1,6pF. Die vier Teil-Fotodioden D1, D2, D3, D4 in **Figur 3** haben eine Sperrschichtkapazität von (je) 400fF. Ein elektrischer Kontakt 10 der Fotodioden an der Substratrückseite (siehe **Figur 5** mit Schnitt A-B aus Figur 3) reduziert den Serienwiderstand der PIN-Dioden erheblich.

Die Transimpedanzverstärker 20 bis 23 gemäß **Figur 4** haben eine Transimpedanz von 70kOhm und der Summenverstärker 30 eine Verstärkung von 2,5. Die Bandbreite des Transimpedanzverstärkers 29 mit ganzflächiger Fotodiode D beträgt nach Figur 1 und 2 151MHz, die des Gesamtsystems mit viergeteilter Fotodiode 11 nach Figur 3 und 4 bei gleicher Empfängerfläche 402MHz.

Die Transimpedanz des Gesamtsystems mit viergeteilter Fotodiode nach Figur 4 beträgt 164kOhm.

Die Verschaltung der einzelnen Fotodioden D1 bis D4 in elektrischer Hinsicht ist aus Figur 4 ersichtlich. Jeweils ein eigener Verstärker 20 bis 23 ist jeweils einer Teildiode zugeordnet und nimmt deren elektrisches Ausgangssignal auf. Über eine Beschaltung als Strom-Spannungs-Wandler mit dem Rückkoppel-Widerstand  $R_f$  ist jeder der einzelnen Transimpedanz-Verstärker für eine jeweilige Teildiode zuständig. Die Ausgangssignale sind nicht gesondert bezeichnet, liegen aber an dem Eingangswiderstand  $R_1$  der Summenschaltung 30 an, die über ihren Rückkoppelwiderstand  $R_2$  den Verstärkungsfaktor der Summenschaltung bestimmt. Dieser ist gemäß obiger Darstellung zu 2,5 gewählt.

Der einzelne Aufbau der Dioden gemäß Figur 3 ist aus der Schnittansicht der Figur 5 ersichtlich. Die dort durch den Schnitt A-B ersichtlichen beiden geschnittenen Fotodioden D1 und D2 als Fotodiode 1 und Fotodiode 2 sind innen durch einen schmalen Streifen 12 beabstandet hinsichtlich des  $N^+$  Gebietes. Dieses Kathodengebiet ist für jede Fotodiode eigenständig und an den jeweiligen Verstärker gemäß Figur 4 angeschlossen. In dem  $P^+$  Gebiet über der  $P$ -Wanne und der vergrabenen Schicht  $P^+$  in der epitaktischen Schicht und auf beiden Seiten der  $N^+$  Schicht jeder Fotodiode D1 und D2 ist der jeweilige Anodenanschluß einer Teildiode. Die Anode kann mit Masse verbunden werden.

Eine weitere Anode 10 auf der Substratrückseite kann den Serienwiderstand der Dioden erheblich reduzieren.

Figur 5 ist nur ein Ausschnitt aus einer integrierten Schaltung, die sich links und rechts weitergehend erstrecken kann, insbesondere mit integrierten Schaltungsverstärkern, wie sie in Figur 4 skizziert sind, aber auch anderen optischen Faserempfängern. Jeder optische Faserempfänger ist dabei über eine elektrische Steckverbindung mit einer - nicht dargestellten - optischen Faser gekoppelt, zur Abbildung eines Lichtflecks aus der optischen Faser auf dem optischen Faserempfänger der Figur 3. Der Lichtfleck ist dabei in seiner Größe im Schnitt für die zwei Teildioden D1 und D2 ersichtlich.

Es versteht sich, dass der als Durchmesser angegebene Wert ein ungefährender Wert ist, der sich nicht zwingend auf eine Kreisform bezieht, was der Name suggeriert. Die entsprechende Abbildung zeigt in Figur 1 und Figur 2 eine mehreckige Gestaltung, die weitgehend an eine Kreisform angenähert ist, aber fertigungstechnische Gesichtspunkte für eine optimierte Fertigung in integrierter Form berücksichtigt.

Nach einer Verschaltung der Einzeldioden D1 bis D4 an ihren jeweiligen Transimpedanz-Verstärker 20 bis 23 ist die Anodenseite der Dioden an ein gemeinsames Potential geschaltet. Die Kathodenseite der Dioden liegt jeweils eigenständig an einem Eingang des elektrisch die Signale umsetzenden oder verstärkenden Transimpedanz-Verstärkers an, zur anschließenden elektrischen Zusammenführung in der Summenschaltung 30. Ausgehend von Figur 5 ist keine gut leitende elektrische Verbindung zwischen Anode und Kathode 1 bzw. Anode und Kathode 2 der zwei Fotodioden D1 bzw. D2 vorgesehen, so dass beide Anschlüsse nicht durch eine elektrisch leitfähige Verbindung miteinander gekoppelt sind, was sich nach einer Verschaltung in der Anordnung nach Figur 4 für nur jeweils einen Anschluß der Dioden ändert.

Die **Figur 6** zeigt die äquivalenten Eingangsrauschstromdichten folgender Systeme im Vergleich:

- (a) Ganzflächige Fotodiode D mit einem Transimpedanzverstärker;
- (b) Eine Teil-Fotodiode D1 mit einem Transimpedanzverstärker und
- (c) Vier Teil-Fotodioden mit jeweils einem eigenen Transimpedanzverstärker und anschließender Addition im Summenverstärker 30.

Integriert man die Eingangsrauschstromdichten im Bereich 1MHz bis 150MHz, so erhält man folgende Werte für den äquivalenten Eingangsrauschstrom: Für die ganzflächige Fotodiode mit einem Transimpedanzverstärker 59,3nA, für die viergeteilte Fotodiode 11 mit vier Transimpedanzverstärkern und Summenverstärker: 33,5nA.

Durch die Vierteilung der Fotodiode kann die Bandbreite mehr als verdoppelt und der äquivalente Eingangsrauschstrom bei konstanter Bandbreite nahezu halbiert werden.

Die Bandbreite des Gesamtsystems von 402MHz ist ausreichend für die Verarbeitung einer Non-Return-to-Zero (NRZ) Datenrate von 500Mbit/s bzw. von 622Mbit/s.

Für eine Fotodiode mit einem Durchmesser "d2" von 1mm ergibt sich eine Sperrschicht-Kapazität von 8,8pF. Eine von vier Teil-Fotodioden hat somit eine Sperrschichtkapazität von 2,2pF. Für die gleichgroße viergeteilte Fotodiode erreicht man mit dem Gesamtsystem bei einer Transimpedanz von 164kOhm eine Bandbreite von 116MHz, welche für eine Datenrate von 155Mbit/s ausreicht. Bei einer Verringerung der Rückkoppelwiderstände  $R_f$  in den Verstärkern 20 bis 23 ergibt sich bei einer Transimpedanz von 32,6kOhm eine Bandbreite von 413MHz (entsprechend einer Datenrate von 622Mbit/s).

Diese Datenraten können erstmals mit Hilfe des Fotodiodenprinzips zusammen mit einem effektiven Fotodiodendurchmesser von 1mm erreicht werden. Somit kann eine optoelektronische integrierte Schaltung (OEIC) für eine Plastikfaser mit 1mm Durchmesser eine Datenrate von über 500Mbit/s erreichen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit liegt in optischen Empfängern für Glasfasern oder Plastikfasern, die eine hohe Justiertoleranz von optischen Steckverbindungen zulassen, bzw. keine Justierung erfordern.

**Bezugszeichenliste****Figur 1**

D : Diode

d1: Durchmesser der Empfängerfläche

**Figur 2**

D : Diode

Rf: Rückkoppelwiderstand

**Figur 3**

D1 : Teil-Diode

D2 : Teil-Diode

D3 : Teil-Diode

D4 : Teil-Diode

d2: Durchmesser der Gesamtdiode

A-B: Schnittlinie siehe Figur5

**Figur 4**

D1: Teil-Diode

D2 : Teil-Diode

D3 : Teil-Diode

D4 : Teil-Diode

Rf : Rückkoppelwiderstand

R1 : Widerstand

R2 : Widerstand

\* \* \*



**Ansprüche:**

1. **Optischer Faserempfänger** für eine optoelektronische integrierte Schaltung (OEIC), im wesentlichen bestehend aus zumindest einem Fotoempfänger (11) und zumindest einem Transimpedanzverstärker, wobei
  - (i) der Fotoempfänger in mehrere Teil-Fotodioden (D1,D2,D3,D4) aufgeteilt ist oder aus mehreren Einzelfotodioden besteht;
  - (ii) jede Teil-Fotodiode zu einem eigenen Transimpedanzverstärker (20,21,22,23) führt und die elektrischen Ausgangssignale der Transimpedanzverstärker in einem Summenverstärker (30) elektrisch zusammengefasst werden.
2. Faserempfänger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Fotodioden, die Transimpedanzverstärker und der Summenverstärker mit anderen Schaltungsteilen auf einem Chip integriert sind.
3. Faserempfänger nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß dieser mit der CMOS-Technologie hergestellt ist.
4. Faserempfänger nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß dieser mit der Bipolar-Technologie hergestellt ist.
5. Faserempfänger nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß dieser mit der BICMOS-Technologie hergestellt ist.
6. Faserempfänger nach Anspruch 1 oder 2, als integriertes Bauelement in einer monolithischen Schaltung, insbesondere mit einer Größenordnung des Fotoempfängers (11) bis im Wesentlichen 1mm Durchmesser (d2).
7. Faserempfänger nach Anspruch 1, wobei die Transimpedanzverstärker als Operationsverstärker-Schaltungen aufgebaut sind.
8. Faserempfänger nach Anspruch 1 oder 7, wobei die Transimpedanzverstärker (21,22,23,20) als Strom-Spannungs-Wandler geschaltet sind.
9. Faserempfänger nach Anspruch 1, wobei vier Teilbereiche (D1,D2,D3,D4) des Fotoempfängers (11) als separate Fotodioden ausgebildet sind, insbesondere mit einer jeweils zwischenliegenden, optisch oder elektrisch unempfindlichen Zwischenzone (12).

10. **Verfahren** zum Aufnehmen eines hochfrequenten Lichtsignals in einem optischen Empfänger (11) am Ende einer Lichtleitfaser, insbesondere als relativ dicke Plastikfaser, wobei der von der Faser auf den optischen Empfänger (11) abgebildete Lichtfleck auf mehrere Einzelbereiche (D1,D2,D3,D4) des optischen Empfängers (11) fällt, die elektrisch voneinander entkoppelt sind, bzw. einseitig im Wesentlichen keine elektrische Leitfähigkeit zueinander besitzen.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Lichtfleck eine Größenordnung von im Wesentlichen 1mm Durchmesser oder darunter aufweist, aber relativ großflächig ist.
12. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der abgebildete Lichtfleck im Wesentlichen an die Größe des optischen Empfängers (11) angepasst ist, oder vice versa.
13. Verfahren nach Anspruch 10, wobei jeder Einzelbereich (D1,D2,D3) des optischen Empfängers (11) kleiner als der Lichtfleck ist, bzw. kleiner als die Summenfläche des optischen Empfängers am Ende der Lichtleitfaser ausgebildet ist.
14. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die von den Einzelbereichen abgegebenen elektrischen Signale über einen jeweils eigenständigen Verstärker (21,22,23,20) mit hoher Bandbreite geführt werden, und danach elektrisch zusammengefasst werden (30).
15. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der optische Empfänger (11) ein optisches Signal aus derselben Faser im wesentlichen zeitgleich in mehrere korrespondierende elektrische Signale umsetzt, insbesondere über mehrere eigenständige Fotodioden als Einzelbereiche.

\* \* \*

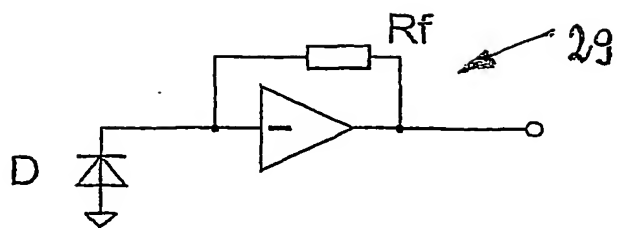


Fig. 2

Fig. 1

Fig. 3

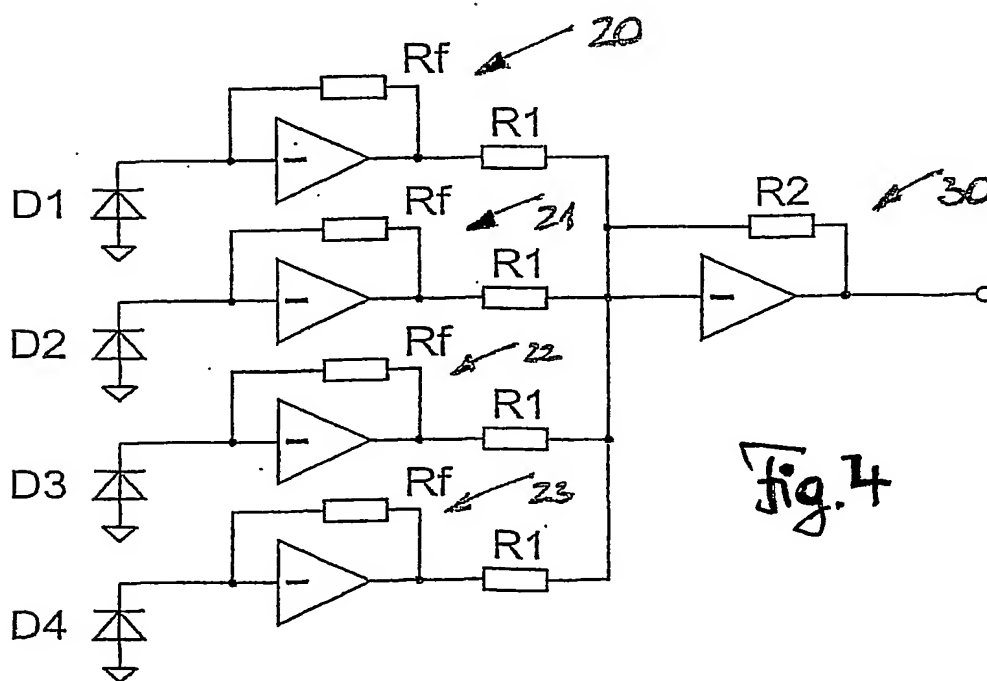
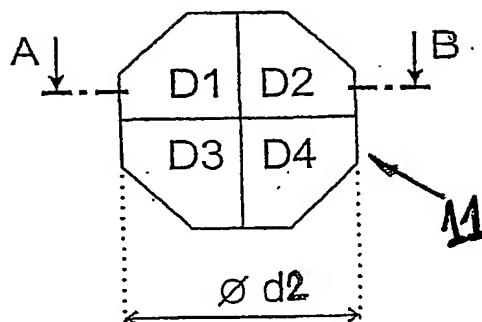
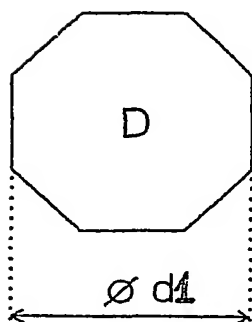
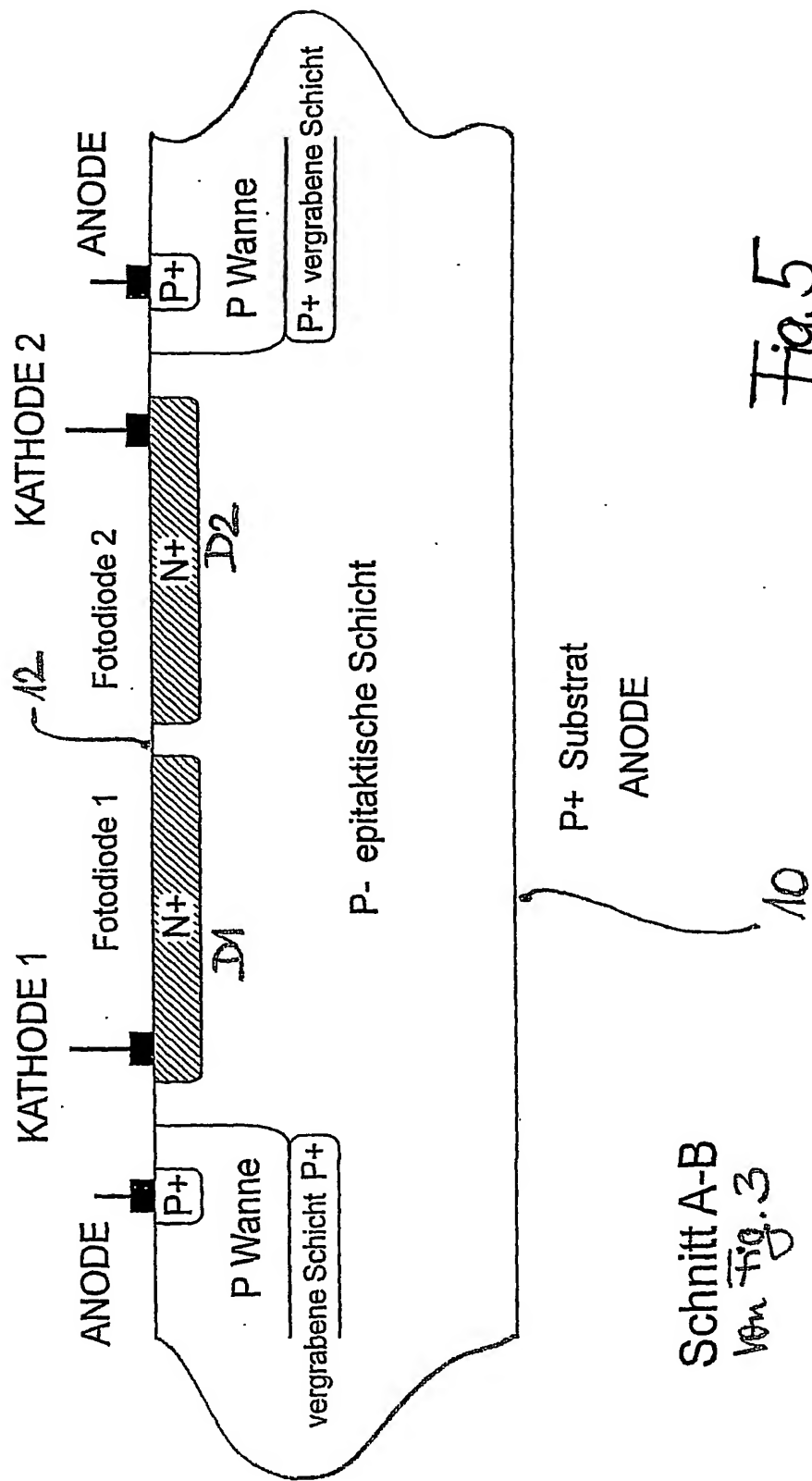


Fig. 4



Schnitt A-B  
von Fig. 3

Fig. 5

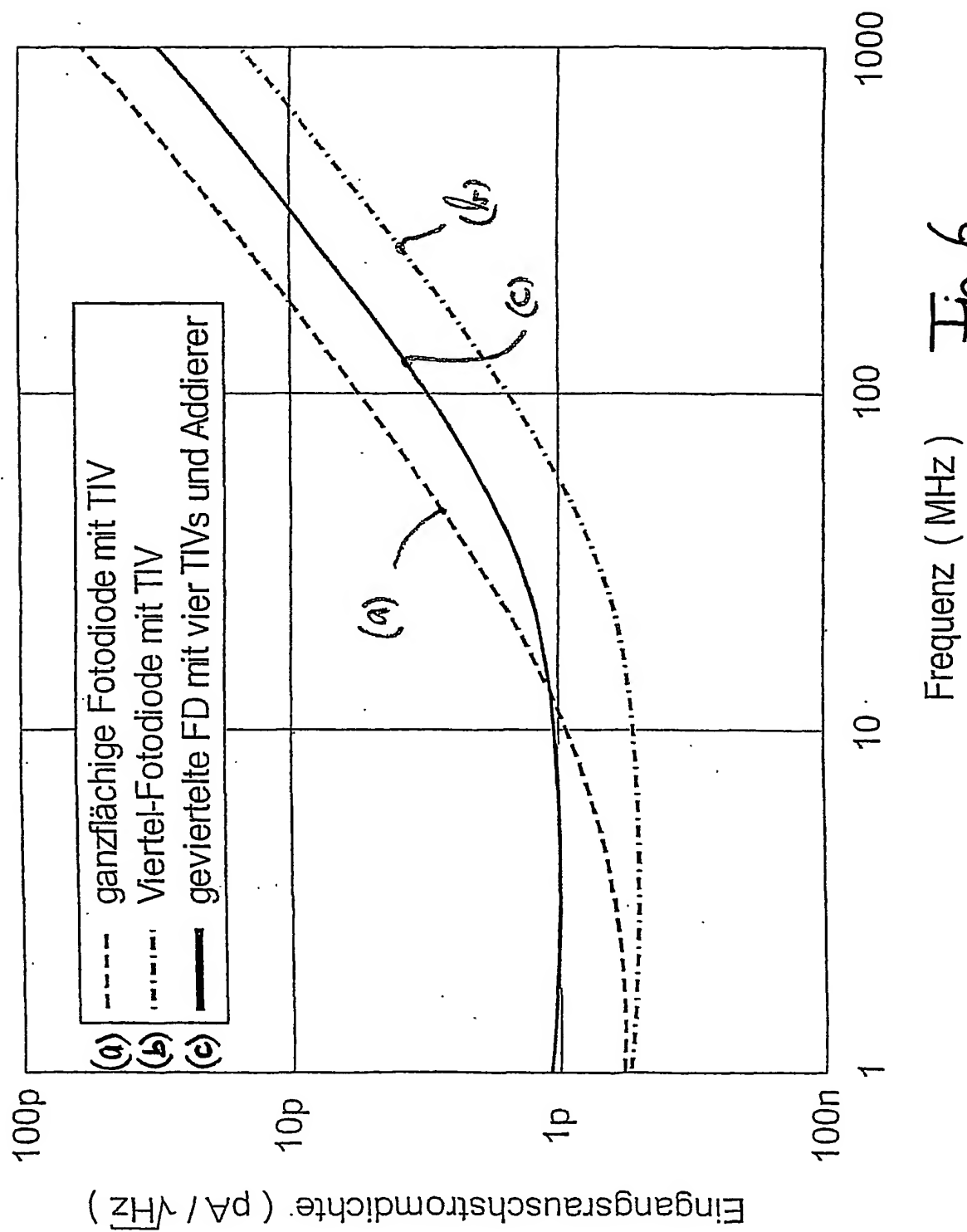


Fig. 6